中国生态农业学报 2016年9月 第24卷 第9期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Sep. 2016, 24(9): 1214−1222

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160065

气象因子对高香气烤烟品种主要香味前体物含量的影响*

刘冰洋[1] 张小全[1**] 张鋆鋆[1] 许志文[1] 彭玉富[2] 杨立均[3] 张广普[1] 杨铁钊[1]

(1. 河南农业大学烟草学院 郑州 450002; 2. 河南中烟工业有限责任公司技术中心 郑州 450000; 3. 河南省烟草公司驻马店市公司 驻马店 463000)

摘 要 为研究气象因子对高香气烤烟品种主要香味前体物质含量的影响, 以烤烟品种'云烟 87'为对照, 对高香气烤烟品种'豫烟 11 号'在 5 个不同地点的主要香味前体物质含量进行了比较, 并分别对 2 个品种的香味前体物质与气象因子进行了关联度分析。研究结果表明: '豫烟 11 号'主要香味前体物质含量在每个地点均显著高于'云烟 87'。烟叶类胡萝卜素在低纬度地区的含量显著低于高纬度地区, 多酚类物质的含量随着海拔降低、成熟期光照时数增加而逐渐增加, 叶片腺毛分泌物整体上高纬度地区的含量显著高于低纬度地区, 以河南卢氏的含量最高。2 个品种的烟叶类胡萝卜素含量受成熟期日照时数、旺长期平均气温等光温因素影响较大, 而烟叶大田生长期间日照时数的长短对多酚类物质含量影响较大。2 个品种的烟叶石油醚提取物和腺毛分泌物含量与气候因素的灰色关联度趋势有较大差异, '豫烟 11 号'烟叶石油醚提取物含量受烟叶生长期间的日照时数影响较大, '云烟 87'则受平均气温的影响较大。'豫烟 11 号'烟叶腺毛分泌物含量受成熟期日照时数和旺长期平均气温等的影响较大, '云烟 87'则受伸根期平均气温、成熟期蒸发量和成熟期平均气温等的影响较大。高香气烤烟品种'豫烟 11 号'在选择种植区域时, 应充分考虑成熟期日照时数和旺长期平均气温对品质的影响。

关键词 烤烟 高香气品种 气象因子 香气前体物 灰色关联
中图分类号: S161; S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)09-1214-09

Effects of meteorological factors on aroma precursors contents of high aroma flue-cured tobacco*

LIU Bingyang[1], ZHANG Xiaoquan[1**], ZHANG Yunyun[1], XU Zhiwen[1], PENG Yufu[2], YANG Lijun[3], ZHANG Guangpu[1], YANG Tiezhao[1]

(1. College of Tobacco Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Technology Center of China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China; 3. Zhumadian Tobacco Company of Henan Province, Zhumadian 463000, China)

Abstract It is important to explore correlation between meteorological factors and aroma precursors for cultivation of high aroma flue-cured tobacco varieties. In this study, the contents of main aroma precursors of the high aroma flue-cured tobacco variety 'Yuyan 11' and conventional flue-cure tobacco variety 'Yunyan 87' at 5 different experimental locations (with different meteorological conditions due to different altitudes and latitudes) were analyzed to determine the effects of meteorological factors on aroma precursors contents of high aroma flue-cured tobacco. The correlations between aroma precursors contents and 6 meteorological factors (average temperature, relative humidity, sunshine duration, rainfall, evaporation and cloudiness) at rooting stage, vigorous growth and mature stage of tobacco, a total of 18 meteorological factors, were also determined using

* 河南中烟工业有限责任公司项目(HNZY102013002)和河南省烟草公司驻马店市公司项目资助
** 通讯作者: 张小全, 主要从事烟草品种改良和推广研究。E-mail: zxq013415@163.com
刘冰洋, 主要从事烟草品质遗传改良研究。E-mail: ycliubingyang@163.com
收稿日期: 2016−01−18 接受日期: 2016−03−25

* Funded by the Project of China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd (HNZY102013002) and the Project of Zhumadian Tobacco Company of Henan Province
** Corresponding author, E-mail: zxq013415@163.com
Received Jan. 18, 2016; accepted Mar. 25, 2016

the grey relational degree method. The results indicated that the main aroma precursors contents of ‘Yuyan 11’ at each location was significantly higher than those of ‘Yunyan 87’. The contents of tobacco leaf carotenoids in low latitude locations were lower than those in high latitude locations. Polyphenol content increased gradually with decreasing altitude and increasing sunshine hour at maturity stage. The content of leaf trichome exudates in high latitude locations was higher than that in low-latitude locations, and it was highest in Henan Lushi. The contents of carotenoid in the leaves of ‘Yuyan 11’ and ‘Yunyan 87’ were influenced more by sunshine hour at maturity stage and average temperature at other growth stages. Sunshine duration during the growth period greatly influenced the content of polyphenols. Grey correlation trend for the contents of petroleum ether extracts and leaf trichome exudates with meteorological conditions for ‘Yuyan 11’ and ‘Yunyan 87’ were significantly different. The content of petroleum ether extract of ‘Yuyan 11’ was more influenced by sunshine hour during the growth period, but that of ‘Yunyan 87’ was more influenced by average temperature. The content leaf trichome exudates of ‘Yuyan 11’ was more influenced by sunshine hour at maturity stage and average temperature during vigorous growth stage, but that of ‘Yunyan 87’ was more influenced by average temperature at rooting stage, and by evaporation and average temperature at maturity stage. The effect of sunshine hour at maturity stage and that of average temperature at vigorous growth stage on the quality of high aroma flue-cured tobacco variety ‘Yuyan 11’ should be fully considered when choosing a planting area.

Keywords　Flue-cured tobacco; High aroma variety; Meteorological factor; Aroma precursor; Grey correlation

烟草香味物质的含量对烟叶的内在质量有重要影响, 决定烟叶的香气品质。烟草香味物质大部分是次生代谢产物, 这些致香物质合成和积累受生态、品种、栽培措施等条件的影响[1−4]。品种是决定烟叶风格和质量的内在因素, 品种内含基因的表达方式和水平受环境条件的影响, 在烟草的生长过程中, 生态条件和栽培措施极大地影响着烟草碳氮代谢相关基因的表达, 并最终通过影响烟叶化学成分和主要次生代谢产物的含量及比例, 对烟叶品质产生重要影响。长期以来, 人们从生态环境[5−7]、品种[8]、栽培措施[9]、调制[10]等与烟叶质量的关系方面开展了大量研究。生态因素中, 气候因子对烟叶质量的影响较大[11−14], 人们围绕气候因子与烟叶香气物质的关系开展了系列研究, 但大多局限在某一特定地区的单一气候因子与烤烟香气物质之间关系研究。

河南农业大学从烟叶腺毛分泌物入手, 把提高叶面致香物质含量作为培育高香气品种的一个突破口[15−17], 以优质、抗病、高香气为选育目标, 培育出了一个具有高香气特征的烤烟杂交种‘豫烟 11 号’, 其特点是香气量大、致香物质含量高, 但是在不同生态条件下, 其高香气特征有差异。‘云烟 87’是目前我国广大烟区种植面积最大的烤烟品种, 具有适应性广、烟叶质量优等特点。本文以‘豫烟 11 号’和‘云烟 87’为材料, 研究了 2 个品种在 5 个不同经纬度及海拔地点的主要香味前体物质含量差异, 分析气象条件与香味前体物质的灰色关联度, 以期为高香气烤烟品种‘豫烟 11 号’烟叶生产的良种、良态、良法配套栽培提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试烤烟品种为‘豫烟 11 号’及‘云烟 87’。‘豫烟 11 号’是河南农业大学选育的一个高香气烤烟杂交种, 2013 年通过全国烟草品种审定委员会审定。‘云烟 87’是目前我国烟区的主栽烤烟品种。

1.2　试验设计

试验于 2011 年在气象条件差异较大的 5 个植烟县进行。用手持式 GPS 测定各试验点的海拔与经纬度。各试验点地理信息分别为贵州毕节威宁县(海拔 2 119 m, 103°59′E, 26°45′N)、贵州黔东南施秉县(海拔 823 m, 108°09′E, 27°09′N)、河南三门峡卢氏县(海拔 799 m, 111°09′E, 34°09′N)、河南南阳内乡县(海拔 356 m, 111°94′E, 33°03′N)、河南许昌禹州市(海拔 140 m, 113°46′E, 34°20′N)。

各试点土壤类型和肥力状况移栽前取样测定, 威宁县为粉壤土, 有机质 14.18 $g\cdot kg^{-1}$, 碱解氮 118.95 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效磷 45.65 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效钾 244.44 $mg\cdot kg^{-1}$; 施秉县为红褐壤, 有机质 33.00 $g\cdot kg^{-1}$, 碱解氮 155.50 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效磷 44.85 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效钾 233.38 $mg\cdot kg^{-1}$; 卢氏县为黄土, 有机质 25.43 $g\cdot kg^{-1}$, 碱解氮 105.43 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效磷 34.56 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效钾 225.36 $mg\cdot kg^{-1}$; 内乡县为黄褐土, 有机质 15.58 $g\cdot kg^{-1}$, 碱解氮 158.51 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效磷 35.86 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效钾 158.66 $mg\cdot kg^{-1}$; 禹州市为褐土, 有机质 20.80 $g\cdot kg^{-1}$, 碱解氮 130.32 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效磷 27.43 $mg\cdot kg^{-1}$, 有效钾 129.53 $mg\cdot kg^{-1}$。

田间采用大区对比试验, 各试验点每个品种种植面积不少于 667 m^2, 栽植密度 16 530 株·hm^{-2}。施

纯氮 90 kg·hm^{-2}, N∶P_2O_5∶K_2O=1∶1.5∶3, 全部施用无机肥(烟草专用复合肥、过磷酸钙和硫酸钾), 用过磷酸钙与硫酸钾分别补充磷和钾的不足, 70%作底肥, 30%作追肥。成熟采收后, 按三段式烘烤工艺烘烤。

待烟株团棵后, 选定具有代表性的植株, 自下而上挂牌标记 1~22 位可收叶(叶数不够按照实际标记叶位取样), 打顶后 20 d 取样, 选取中部叶(13、14 叶位)为待测样品, 一部分用来测定叶绿素和叶面分泌物含量, 一部分杀青用于烟叶多酚、类胡萝卜素类物质等含量的测定。

1.3 气象数据收集

试验所选用的气象因子包括平均气温、相对湿度、日照时数、降雨量、蒸发量、云量等 6 项。生态因子相关数据由 5 个试验点所在县(市)气象局提供(见表 1)。各试验点将烤烟从移栽到烟叶成熟采收分为伸根期(还苗–团棵)、旺长期(团棵–现蕾)、成熟期(现蕾–中部烟叶成熟)3 个发育时期, 贵州黔东南施秉县、贵州毕节威宁县、河南三门峡卢氏县、河南许昌禹州市与河南南阳内乡县试验点烤烟伸根期的气象要素统计时段分别为 4 月下旬—5 月中旬、5 月中旬—6 月上旬、5 月中旬—6 月上旬、5 月上旬—下旬、5 月上旬—下旬; 旺长期的气象要素值分别为 5 月下旬—6 月中旬、6 月中旬—7 月上旬、6 月中旬—7 月上旬、6 月上旬—下旬、6 月上旬—下旬; 中部烟叶成熟期的气象要素值分别为 6 月下旬—7 月中旬、7 月中旬—8 月上旬、7 月中旬—8 月上旬、7 月上旬—下旬、7 月上旬—下旬。

1.4 测定方法

叶绿素和类胡萝卜素含量用乙醇提取后分光光度法测定[18]; 石油醚提取物采用残余法测定[8]; 叶面分泌物的提取浓缩及定量测定采用韩锦峰等[19]、杨铁钊等[15]提出的方法, 分别在鲜烟叶主脉两侧、叶基部、主脉两侧叶中部对称位置、叶尖处切取直径为10 cm的圆片共15片, 并依次将圆片在1 000 mL二氯甲烷中浸提3次, 每次浸提2 s, 加入1 mL内标(含正十七烷醇), 得到的浸提液经过滤、旋转蒸发仪浓缩、氮吹仪吹干、硅烷化处理后, 进行GC/MS测定分析和NIST库检索定性[15]。

1.5 数据分析

主要香味前体物含量结果为 3 次重复的平均值, 数据采用 Microsoft Excel 2000 软件进行整理, 用 DPS 软件对品种间差异进行 T 测验显著性分析, 对地点间差异采用方差分析, 并用 Duncan's 新复极差法进行多重比较, P<0.05 为显著水平。根据邓聚龙灰色系统理论[20], 分别将 3 个发育阶段的平均气温、相对湿度、日照时数、降雨量、蒸发量、云量(共 18 个气象因子)与主要香味前体物质含量指标视为同一灰色系统。其中气象因子作为比较数列, 各个主要香味前体物质含量指标作为参考数列, 然后数据转换方式选择标准化, 按分辨系数为 0.5 进行灰色关联度分析, 具体的计算采用 DPS 软件进行[21]。

2 结果与分析

2.1 不同试验点烤烟生长期间气象要素差异

5 个试验点, 海拔高度由高到低依次为威宁(2 119 m)、施秉(823 m)、卢氏(799 m)、内乡(356 m)、禹州(140 m), 经度变化不大且随着海拔的降低而升高(103°59′E 至 111°94′E), 纬度则威宁(26°45′N)和施秉(27°09′N)相当, 卢氏(34°09′N)、内乡(33°03′N)和禹州(34°20′N)相当。不同试验点烤烟生长期间气象要素见表 1, 烟草生长的伸根期、旺长期和成熟期的平均气温和日照时数表现出随着海拔的降低而升高, 低纬度试验点明显低于高纬度试验点, 降雨量和云量随着海拔的降低而降低的趋势, 降雨量低纬度试验点明显高于高纬度试验点; 旺长期平均气温威宁和施秉低于 24 ℃, 卢氏、内乡和禹州高于 24 ℃; 成熟期平均气温除威宁为 17.63 ℃外, 其他 4 个试验点都高于 26 ℃。5 个试验点烤烟生长期间气象要素随海拔和经纬度呈规律性变化。

2.2 不同试验点烤烟主要香味前体物质含量差异

2 个品种在不同地点主要香味前体物质和腺毛分泌物含量差异见表 2。质体色素(叶绿素和类胡萝卜素)是影响烟叶品质和可用性的主要成分之一, 它不仅决定了调制后烟叶的色泽, 而且其相关降解产物与烟叶的香气质和香气量密切相关[1]。相同栽培条件下, 打顶后 20 d, 5 个地区植株中部叶片'豫烟 11 号'叶绿素和类胡萝卜素含量均显著高于'云烟 87'。2 个品种的叶绿素含量均在施秉最高, 在内乡最低。2 个品种的类胡萝卜素含量均在低纬度地区(威宁、施秉)显著低于高纬度地区(卢氏、内乡、禹州)。烤烟中多酚类物质的含量与烟叶品质呈正相关, 植株中部叶片'豫烟 11 号'多酚含量显著高于'云烟 87', 且在 5 个地区表现一致, 且有随着海拔降低、成熟期光照时数增加而逐渐增加的趋势。烟草中的石油醚提取物含有挥发性和非挥发性的精油、树脂、脂肪烃、石蜡等物质, 被认为是形成烟草香味的重要来源, 与烟叶的香味和协调密切相关[1], 除施秉点外, 其他地点'豫烟 11 号'多酚含量显著高于'云烟 87', 以河南卢氏的含量最高。

表 1　各试验点烤烟不同生育时期气象因子值

Table 1　Meteorological factors at different tobacco development stages at different experimental locations

生育时期 Growth stage	气象因子 Meteorological factor	试验点 Experimental location				
		威宁 Weining	施秉 Shibing	卢氏 Lushi	内乡 Neixiang	禹州 Yuzhou
伸根期 Rooting stage	平均气温 Average temperature (℃)	14.57	21.57	20.50	22.35	22.71
	相对湿度 Relative humidity (%)	81.53	88.86	60.00	61.08	62.15
	日照时数 Sunshine duration (h)	93.10	65.10	177.50	223.20	205.90
	降雨量 Rainfall (mm)	135.90	105.90	27.50	17.68	12.31
	蒸发量 Evaporation (mm)	107.60	107.80	110.10	196.50	180.10
	云量 Cloudiness (%)	90.31	87.52	74.33	65.00	67.00
旺长期 Vigorous growth stage	平均气温 Average temperature (℃)	16.90	21.83	24.27	27.82	26.80
	相对湿度 Relative humidity (%)	81.67	93.05	63.67	57.36	54.00
	日照时数 Sunshine duration (h)	75.60	41.50	165.00	234.50	219.60
	降雨量 Rainfall (mm)	224.70	130.80	60.00	16.35	11.70
	蒸发量 Evaporation (mm)	66.70	82.06	112.70	250.30	243.70
	云量 Cloudiness (%)	92.67	92.67	81.00	62.00	61.00
成熟期 Mature stage	平均气温 Average temperature (℃)	17.63	26.03	26.03	28.34	28.20
	相对湿度 Relative humidity (%)	88.57	90.03	70.67	69.30	71.00
	日照时数 Sunshine duration (h)	109.20	131.60	157.10	189.60	195.20
	降雨量 Rainfall (mm)	236.50	200.80	64.50	85.60	61.60
	蒸发量 Evaporation (mm)	81.30	142.50	128.40	200.10	192.90
	云量 Cloudiness (%)	84.67	82.67	88.00	68.00	66.00

表 2　两个烤烟品种在不同地点主要香味前体物质和腺毛分泌物含量差异

Table 2　Difference of main aroma precursors and leaf trichome exudates contents of two tobacco varieties in different experimental locations

指标 Index	品种 Variety	试验点 Experimental location				
		威宁 Weining	施秉 Shibing	卢氏 Lushi	内乡 Neixiang	禹州 Yuzhou
烟叶叶绿素 Chlorophyll ($mg \cdot g^{-1}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	1.35±0.06b*	1.43±0.05a*	1.34±0.05b*	1.12±0.04c*	1.32±0.02b*
	云烟 87 Yunyan 87	1.11±0.04b	1.25±0.04a	0.95±0.02c	1.04±0.04b	1.09±0.04b
烟叶类胡萝卜素 Carotenoid ($mg \cdot g^{-1}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	0.15±0.01d*	0.18±0.01c*	0.26±0.01a*	0.25±0.01a*	0.22±0.01b*
	云烟 87 Yunyan 87	0.11±0.01c	0.13±0.01b	0.16±0.01a	0.17±0.01a	0.16±0.01a
烟叶多酚 Polyphenolst ($mg \cdot g^{-1}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	21.72±0.86c*	21.29±0.85c*	23.45±0.93b*	25.51±1.02a*	24.75±0.99ab*
	云烟 87 Yunyan 87	19.33±0.77c	19.01±0.76c	20.47±0.81bc	22.31±0.89a	21.86±0.87ab
烟叶石油醚提取物 Petroleum ether extract (%)	豫烟 11 号 Yuyan 11	6.41±0.25c*	6.23±0.24c	8.32±0.33a*	7.07±0.28b*	6.60±0.26c*
	云烟 87 Yunyan 87	4.76±0.19c	6.17±0.24a	6.50±0.26a	6.38±0.25a	5.57±0.22b
α-西柏三烯一醇 α-cembratriene-ol ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	0.18±0.01d	0.26±0.01c	0.51±0.02a*	0.33±0.01b	0.11±0.01e
	云烟 87 Yunyan 87	0.22±0.01d*	0.42±0.01a*	0.29±0.01c	0.39±0.01b*	0.27±0.01c*
β-西柏三烯一醇 β-cembratriene-ol ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	0.28±0.01c	0.37±0.01b	0.54±0.02a*	0.37±0.01b	0.19±0.01d
	云烟 87 Yunyan 87	0.32±0.01c*	0.36±0.01b	0.38±0.01b	0.41±0.01a*	0.18±0.01d
α-西柏三烯二醇 α-cembratriene-diol ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	29.22±1.16e*	43.68±1.74d*	153.96±6.15a*	79.78±3.19c*	105.24±4.20b*
	云烟 87 Yunyan 87	13.97±0.55d	39.35±1.57c	43.26±1.73bc	47.81±1.91b	55.16±2.20a
β-西柏三烯二醇 β-cembratriene-diol ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	13.03±0.52e*	28.36±1.13d*	76.53±3.06a*	64.36±2.57c*	70.00±2.80b*
	云烟 87 Yunyan 87	11.33±0.45d	23.65±0.94b	16.62±0.66c	23.31±0.93b	47.38±1.89a
蔗糖酯 Sucrose ester ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	0.86±0.03d*	2.17±0.08c*	3.76±0.15a*	2.37±0.09b*	0.77±0.03d
	云烟 87 Yunyan 87	0.25±0.01e	0.56±0.02d	0.83±0.03b	0.68±0.02c	1.88±0.07a*
烟叶腺毛分泌物总量 Total of leaf trichome exudates ($\mu g \cdot cm^{-2}$)	豫烟 11 号 Yuyan 11	43.57±1.74e*	74.84±2.99d*	235.30±9.41a*	147.21±5.88c*	176.31±7.05b*
	云烟 87 Yunyan 87	26.09±1.04d	64.34±2.57c	61.38±2.45c	72.60±2.90b	104.87±4.19a

表中数据格式为平均数±标准差。*表示两个品种同一指标在同一地点的 T 测验差异显著性($P<0.05$)。同行不同小写字母表示同一品种在不同地点差异显著($P<0.05$)。The results shown are means ± SE. * indicate significant difference at $P < 0.05$ (Student's t-test) between two varieties in the same location. Different lowercases letters in a row indicate significant difference at 0.05 level among different locations of the same variety.

烟叶腺毛分泌物的主要成分是西柏烷类化合物，是烟草香味物质的重要来源之一[17]。相同栽培条件下，打顶后 20 d，植株中部叶片腺毛分泌物主要组成成分的 GC/MS 测定结果表明，腺毛分泌物的主要组分为西柏三烯二醇类物质，占检测到总物质含量的95%以上，整体上高纬度地区的含量高于低纬度地区，以河南卢氏的含量最高，可能跟高纬度地区烟叶旺长期温度较高有关。'豫烟 11 号'烟叶腺毛分泌物总量显著高于'云烟 87'，高纬度地区的含量差异大于低纬度地区，特别是卢氏地区'豫烟 11 号'的含量是'云烟 87'的 3.8 倍。这与王冬等[22−23]的研究结果一致。

2.3 香味前体物质与不同生育时期气象因子的关联度分析

2.3.1 烟叶类胡萝卜素含量与不同生育时期气象因子的灰色关联度分析

'豫烟 11 号'和'云烟 87'烟叶类胡萝卜素含量与气象因子的灰色关联度趋势基本相同(表 3)，依灰色关联度大小主要有：成熟期日照时数、旺长期平均气温、伸根期日照时数、成熟期蒸发量、成熟期平均气温、旺长期蒸发量、旺长期日照时数、伸根期蒸发量、伸根期平均气温，灰色关联度都在 0.71 以上。可见光温因素是造成不同地区烟叶类胡萝卜素含量差异的主要原因。烟草大田生长期间的平均气温和日照时数在高纬度试验点明显高于低纬度试验点(表 1)，两品种类胡萝卜素含量也表现为高纬度试验点显著高于低纬度试验点。

2.3.2 烟叶多酚类物质含量与不同生育时期气象因子的灰色关联度分析

'豫烟 11 号'和'云烟 87'烟叶多酚类物质含量与气象因子的灰色关联度趋势一致(表 3)，依灰色关联度大小主要有：旺长期日照时数、伸根期日照时数、旺长期蒸发量、伸根期蒸发量、成熟期日照时数、灰色关联度都在 0.52 以上。可见烟叶大田生长期间日照时数的长短是造成烟叶多酚类物质含量差异的主要原因，结果与烟叶多酚随着海拔降低、成熟期光照时数增加而逐渐增加的趋势一致。

2.3.3 烟叶石油醚提取物含量与不同生育时期气象因子的灰色关联度分析

2 个品种烟叶石油醚提取物含量与气象因子的灰色关联度有较大差异(表 4)。与'豫烟 11 号'烟叶石油

表 3 两个烤烟品种类胡萝卜素和多酚类物质含量与不同生育时期气象因子的灰色关联度

Table 3 Grey correlation degree between meteorological factors at different growth stages and carotenoid and polyphenol contents of two tobacco varieties

生育时期 Growth stage	气象因子 Meteorological factor	类胡萝卜素 Carotenoid				多酚 Polyphenol			
		豫烟 11 号 Yuyan 11		云烟 87 Yunyan 87		豫烟 11 号 Yuyan 11		云烟 87 Yunyan 87	
		关联度 Correlation	排序 Rank	关联度 Correlation	排序 Rank	关联度 Correlation	排序 Rank	关联度 Correlation	排序 Rank
伸根期 Rooting stage	平均气温 Average temperature	0.713 9	9	0.790 4	8	0.742 7	8	0.708 3	8
	相对湿度 Relative humidity	0.477 7	16	0.481 7	17	0.448 0	15	0.450 3	16
	日照时数 Sunshine duration	0.752 7	3	0.844 9	3	0.918 1	2	0.886 9	2
	降雨量 Rainfall	0.477 8	15	0.488 3	15	0.453 6	14	0.458 8	14
	蒸发量 Evaporation	0.714 5	8	0.772 3	9	0.831 0	4	0.855 2	4
	云量 Cloudiness	0.480 9	13	0.497 4	13	0.478 9	11	0.490 5	10
旺长期 Vigorous growth stage	平均气温 Average temperature	0.794 6	2	0.908 4	1	0.818 7	6	0.785 4	7
	相对湿度 Relative humidity	0.475 3	18	0.488 8	14	0.469 4	13	0.477 8	12
	日照时数 Sunshine duration	0.736 5	7	0.820 3	6	0.926 1	1	0.915 3	1
	降雨量 Rainfall	0.493 0	12	0.508 3	12	0.477 6	12	0.487 1	11
	蒸发量 Evaporation	0.740 1	6	0.798 5	7	0.851 0	3	0.873 7	3
	云量 Cloudiness	0.494 5	11	0.523 7	11	0.493 0	10	0.470 9	13
成熟期 Mature stage	平均气温 Average temperature	0.744 9	5	0.825 2	5	0.735 8	9	0.702 7	9
	相对湿度 Relative humidity	0.475 4	17	0.481 6	18	0.447 8	16	0.451 2	15
	日照时数 Sunshine duration	0.828 3	1	0.880 1	2	0.824 6	5	0.825 6	5
	降雨量 Rainfall	0.477 8	14	0.485 0	16	0.444 7	18	0.447 6	17
	蒸发量 Evaporation	0.746 7	4	0.828 6	4	0.765 9	7	0.790 1	6
	云量 Cloudiness	0.585 1	10	0.538 2	10	0.445 7	17	0.433 8	18

表 4　两个烤烟品种石油醚提取物和腺毛分泌物总量与不同生育时期气象因子的灰色关联度
Table 4　Grey correlation degree between meteorological factors at different growth stages and petroleum ether extract and trichome exudates contents of two tobacco varieties

生育时期 Growth stage	气象因子 Meteorological factor	石油醚提取物 Petroleum ether extract				腺毛分泌物总量 Trichome exudates			
		豫烟 11 号 Yuyan 11		云烟 87 Yunyan 87		豫烟 11 号 Yuyan 11		云烟 87 Yunyan 87	
		关联度 Correlation	排序 Rank	关联度 Correlation	排序 Rank	关联度 Correlation	排序 Rank	关联度 Correlation	排序 Rank
伸根期 Rooting stage	平均气温 Average temperature	0.570 2	9	0.808 3	2	0.686 4	8	0.838 9	1
	相对湿度 Relative humidity	0.537 0	11	0.579 6	17	0.468 7	14	0.531 3	18
	日照时数 Sunshine duration	0.663 6	2	0.663 9	7	0.724 5	3	0.691 9	9
	降雨量 Rainfall	0.517 5	15	0.593 1	13	0.468 2	15	0.556 9	12
	蒸发量 Evaporation	0.667 4	1	0.598 4	12	0.695 9	7	0.700 4	8
	云量 Cloudiness	0.512 1	18	0.591 2	14	0.464 7	17	0.576 5	11
旺长期 Vigorous growth stage	平均气温 Average temperature	0.602 7	6	0.747 6	3	0.726 5	2	0.816 9	5
	相对湿度 Relative humidity	0.516 5	16	0.566 3	18	0.467 6	16	0.556 4	13
	日照时数 Sunshine duration	0.658 0	3	0.648 8	8	0.707 6	5	0.709 2	7
	降雨量 Rainfall	0.525 2	14	0.629 6	9	0.480 0	11	0.596 5	10
	蒸发量 Evaporation	0.656 4	4	0.625 3	10	0.722 5	4	0.754 1	6
	云量 Cloudiness	0.513 2	17	0.599 4	11	0.477 5	12	0.548 7	14
成熟期 Mature stage	平均气温 Average temperature	0.576 7	7	0.808 4	1	0.697 7	6	0.832 7	3
	相对湿度 Relative humidity	0.526 6	12	0.581 9	16	0.463 5	18	0.535 6	16
	日照时数 Sunshine duration	0.637 8	5	0.696 1	5	0.754 4	1	0.818 0	4
	降雨量 Rainfall	0.526 0	13	0.590 8	15	0.474 4	13	0.548 7	15
	蒸发量 Evaporation	0.563 5	10	0.708 4	4	0.681 1	9	0.834 4	2
	云量 Cloudiness	0.574 7	8	0.688 5	6	0.553 2	10	0.534 1	17

醚提取物含量关联关系较大的气象因子，依灰色关联度大小主要有伸根期蒸发量、伸根期日照时数、旺长期日照时数、旺长期蒸发量、成熟期日照时数、旺长期平均气温、成熟期平均气温。与‘云烟 87’烟叶石油醚提取物含量关联关系较大的气候因素，依灰色关联度大小主要有成熟期平均气温、伸根期平均气温、旺长期平均气温、成熟期蒸发量、成熟期日照时数、成熟期云量、伸根期日照时数、旺长期日照时数。可见‘豫烟 11 号’和‘云烟 87’烟叶石油醚提取物含量受气候因素的影响有所不同，‘豫烟 11 号’烟叶石油醚提取物含量受烟叶生长期间的日照时数影响较大，‘云烟 87’则受平均气温的影响较大。

2.3.4　烟叶腺毛分泌物含量与不同生育时期气象因子的灰色关联度分析

2 个品种烟叶腺毛分泌物含量与气象因子的灰色关联度有较大差异(表 4)。与‘豫烟 11 号’烟叶腺毛分泌物含量关联关系较大的气候因素，依灰色关联度大小主要有成熟期日照时数、旺长期平均气温、伸根期日照时数、旺长期蒸发量、旺长期日照时数、成熟期平均气温、伸根期蒸发量、伸根期平均气温。与‘云烟 87’烟叶腺毛分泌物含量关联关系较大的气候因素，依灰色关联度大小主要有伸根期平均气温、成熟期蒸发量、成熟期平均气温、成熟期日照时数、旺长期平均气温、旺长期蒸发量、旺长期日照时数、伸根期蒸发量。可见‘豫烟 11 号’和‘云烟 87’烟叶腺毛分泌物含量受气候因素的影响有所不同，‘豫烟 11 号’烟叶腺毛分泌物含量受成熟期日照时数和旺长期平均气温等的影响较大，‘云烟 87’则受伸根期平均气温、成熟期蒸发量和成熟期平均气温等的影响较大。

3　结论与讨论

本文研究了‘豫烟 11 号’和‘云烟 87’在 5 个不同海拔地点的主要香味前体物质含量差异。5 个试验点烤烟生长期间气象要素呈现随海拔和纬度呈规律性变化。烟叶类胡萝卜素在低纬度地区的含量显著低于高纬度地区，多酚类物质的含量随着海拔降低、成熟期光照时数增加而逐渐增加，叶片腺毛分

泌物整体上高纬度地区的含量显著高于低纬度地区，以河南卢氏的含量最高。高香气烤烟品种'豫烟 11 号'主要香味前体物质含量在每个点均高于'云烟 87'。说明气候因子是烟叶品质特点和区域风格特色形成的基础条件，是决定烟叶品质的外部因素之一，品种因素除了本身的遗传基础对烟叶品质进行直接影响外，在生长发育过程中，不同生态条件下其相关基因的表达方式和程度不同[2]，最终通过影响烟叶化学成分和主要次生代谢产物的含量及比例，间接对烟叶的品质产生重要影响。

'豫烟 11 号'和'云烟 87'烟叶类胡萝卜素含量和多酚类物质含量与气候因素的灰色关联度趋势一致，而烟叶石油醚提取物含量和腺毛分泌物含量与气象因子的灰色关联度有较大差异。烟叶类胡萝卜素含量受成熟期日照时数、旺长期平均气温等光温因素影响较大，而烟叶大田生长期间日照时数的长短对多酚类物质含量影响较大。类胡萝卜素受光温因素影响较大与其在光合作用的光能传递作用有关，易受光强、光质、温度、水分等因素综合影响[24–26]。大量研究也证实多酚类物质含量随光照强度和时数的增加而增加[27]。烟叶石油醚提取物和腺毛分泌物是主要的烟叶表面化学物质，是形成烟草香味的重要来源，直接影响烟叶的品质，影响其含量的因素较多[1]。本研究发现'豫烟 11 号'烟叶石油醚提取物含量受烟叶生长期间的日照时数影响较大，'云烟 87'则受平均气温的影响较大，'豫烟 11 号'烟叶腺毛分泌物含量受成熟期日照时数和旺长期平均气温等的影响较大，'云烟 87'则受伸根期平均气温、成熟期蒸发量和成熟期平均气温等的影响较大，说明品种与生态条件的互作对烟叶表面化学物质影响较大。'豫烟 11 号'烟叶腺毛分泌物含量高于'云烟 87'，特别是卢氏地区"豫烟 11 号"的含量是'云烟 87'的 3.8 倍，我们后续研究也证实与'云烟 87'相比'豫烟 11 号'的烟叶腺毛分泌物主要物质西柏三烯二醇合成关键酶基因 *CYC-1* 和 *CYP71D16* 的上调表达是造成其西柏三烯二醇含量较高的主要原因[23,28]，且较大的昼夜温差和较高的光照强度促进 *CYC-1* 和 *CYP71D16* 的上调表达，从而使西柏三烯二醇得到充分的合成与积累[22]。

高香气烤烟品种'豫烟 11 号'主要香味前体物质含量在不同气象条件均显著高于主栽烤烟品种'云烟 87'，其烟叶石油醚提取物含量受烟叶生长期间的日照时数影响较大，烟叶腺毛分泌物含量受成熟期日照时数和旺长期平均气温等的影响较大，因而在选择种植区域时，应充分考虑成熟期日照时数和旺长期平均气温这些光温因子对主要香味前体物质含量以及烟叶品质的影响。

参考文献 References

[1] 史宏志, 刘国顺. 烟草香味学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
Shi H Z, Liu G S. Tobacco Flavor[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998

[2] 程昌新, 卢秀萍, 许自成, 等. 基因型和生态因素对烟草香气物质含量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 137–139
Chen C X, Lu X P, Xu Z C, et al. Effects of genotype and ecological factors on content of aroma components of tobacco[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(11): 137–139

[3] 丁燕芳, 李亚培, 张小全, 等. 基因型、环境及其互作对烤烟主要致香成分的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(3): 97–102
Ding Y F, Li Y P, Zhang X Q, et al. Effects of genotype, environment and their interaction on the content of aroma components in flue-cured tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2012, 21(3): 97–102

[4] 张小全, 王新发, 杨铁钊. 氮素对烤烟基因型间香味基础物质及相关性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(3): 36–41
Zhang X Q, Wang X F, Yang T Z. Effect of nitrogen fertilization on basal aroma components and related characters in different flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(3): 36–41

[5] 杨天旭, 文俊, 陈越立, 等. 凉山烟区生态因素与烟叶质量特点分析[J]. 烟草科技, 2009(5): 52–56
Yang T X, Wen J, Chen Y L, et al. Analysis of ecological factors and flue-cured tobacco quality of Liangshan tobacco growing area[J]. Tobacco Science & Technology, 2009(5): 52–56

[6] 许自成, 刘国顺, 刘金海, 等. 铜山烟区生态因素和烟叶质量特点[J]. 生态学报, 2005, 25(7): 1748–1753
Xu Z C, Liu G S, Liu J H, et al. Analysis of ecological factors and quality of flue-cured tobacco leaves in Tongshan tobacco-growing areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1748–1753

[7] 徐照丽. 云南生态环境与云南烤烟香气品质关系的探讨[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 196–200
Xu Z L. The relationship between ecological environment and aroma quality of flue-cured tobacco in Yunnan Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(8): 196–200

[8] Weeks W W, Sisson V A, Chaplin J F. Differences in aroma, chemistry, solubilities, and smoking quality of cured flue-cured tobaccos with aglandular and glandular trichomes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(10): 1911–1917

[9] 叶协锋, 张春华, 刘国顺, 等. 不同氮磷钾肥配施对烤烟质

体色素及其降解产物含量的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(4): 178–183
Ye X F, Zhang C H, Liu G S, et al. Effects of different combining application of N, P, K fertilizers on the chromoplast pigment and degraded products in flue-cured tobacco leaves[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2011, 26(4): 178–183

[10] 王爱华, 王松峰, 腾春富, 等. 密集烘烤不同变筋温度对烟叶香气物质和评吸质量的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(S1): 116–121
Wang A H, Wang S F, Teng C F, et al. Effects of different muscle-yellowing temperature on aroma constituents and smoking qualities of tobacco leaves during bulk curing[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2012, 27(S1): 116–121

[11] 戴冕. 我国主产烟区若干气象因素与烟叶化学成分关系的研究[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(1): 27–34
Dai M. Relationship between climate factors and leaf chemical composition in some tobacco leaf production areas in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2000, 6(1): 27–34

[12] 李玲燕, 徐宜民, 王树声. 气候因子对烤烟香气物质的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(1): 107–113
Li L Y, Xu Y M, Wang S S. Advance in effects of climatic factors on aroma components of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2015, 36(1): 107–113

[13] 杨军杰, 史宏志, 王红丽, 等. 中国浓香型烤烟产区气候特征及其与烟叶质量风格的关系[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(2): 158–165
Yang J J, Shi H Z, Wang H L, et al. Relationship analysis of climate characteristics and tobacco leaf quality and style in flue-cured tobacco planting regions of China[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2015, 49(2): 158–165

[14] 黄爱缨, 木志坚, 蒋珍茂, 等. 土壤–气候、烟草品种及其互作和烟叶等级对烟叶致香物质质量分数的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(10): 22–29
Huang A Y, Mu Z J, Jiang Z M, et al. Effects of soil-climate conditions, tobacco varieties and their interaction and leaf grade on the contents of aroma components of tobacco leaves[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2015, 37(10): 22–29

[15] 杨铁钊, 李伟, 李钦奎, 等. 烤烟叶面腺毛密度及其分泌物变化动态的相关分析[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(1): 43–46
Yang T Z, Li W, Li Q K, et al. Analysis of the varying trends and correlation of the density of glandular trichome and leaf surface exudate of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science, 2005, 26(1): 43–46

[16] 王霞, 翟争光, 杨铁钊, 等. 烤烟基因型间香味物质的差异分析[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(6): 6–8
Wang X, Zhai Z G, Yang T Z, et al. Differences in aroma components among flue-cured tobacco genotypes[J]. Chinese Tobacco Science, 2007, 28(6): 6–8

[17] 殷全玉, 王霞, 杨铁钊, 等. 叶面分泌物和中性香气物质在不同烤烟品种(系)和地区间的变化及其与常规化学成分的关系[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(3): 17–23
Yin Q Y, Wang X, Yang T Z, et al. Studies on leaf cuticular extraction and neutral aroma components in flue-cured tobacco genotypes and regions and its relation to routine chemical components[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2010, 16(3): 17–23

[18] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 68–72
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. The Experimental Guide of Plant Physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 68–72

[19] 韩锦峰, 王广山, 远彤, 等. 烤烟叶面分泌物的初步研究[J]. 中国烟草, 1995, 16(2): 10–13
Han J F, Wang G S, Yuan T, et al. Preliminary study on trichome exudate of leaf surface of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco, 1995, 16(2): 10–13

[20] 邓聚龙. 灰色系统综述[J]. 世界科学, 1983(7): 1–5
Deng J L. Review on Grey System[J]. World Science, 1983(7): 1–5

[21] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 614–622
Tang Q Y, Feng M G. Practical Statistical Analysis and DPS Data Processing System[M]. Beijing: Science Press, 2002: 614–622

[22] 王冬, 张小全, 彭玉富, 等. 昼夜温差和光照强度对烟草西柏三烯二醇的合成及 *CYC-1*、*CYP71D16* 基因表达的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(5): 150–155
Wang D, Zhang X Q, Peng Y F, et al. Effects of temperature range and light intensity on content of CBT-diols and expression of *CYC-1* and *CYP71D16* in tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2014, 29(5): 150–155

[23] 王冬, 孙九哲, 彭玉富, 等. 不同品种(系)烤烟西柏三烯二醇代谢差异研究[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(6): 63–69
Wang D, Sun J Z, Peng Y F, et al. Metabolism differences of cembratrien-diols in different tobacco cultivars[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(6): 63–69

[24] 刘典三, 刘国顺, 贾芳芳, 等. 不同光强对烤烟质体色素及其降解产物的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(1): 234–238
Liu D S, Liu G S, Jia F F, et al. Effects of light intensity on plastid pigment and its degraded products in flue-cured tobacco[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2013, 28(1): 234–238

[25] 赵铭钦, 王付锋, 张志逢, 等. 增施不同有机物质对烤烟叶片质体色素及其降解产物的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(6): 149–152
Zhao M Q, Wang F F, Zhang Z F, et al. Effect of different organic substance on chromoplast pigments and its degraded products in flue-cured tobacco leaves[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2009, 24(6): 149–152

[26] 赵进恒, 赵铭钦, 韩富根, 等. 水肥耦合对烤烟质体色素及其降解产物的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(2): 216–220
Zhao J H, Zhao M Q, Han F G, et al. Effect of water and fertilizer coupling on chromoplast pigment and its degraded products in flue-cured tobacco leaf[J]. Acta Agriculturae

Boreali-Sinica, 2010, 25(2): 216–220
[27] 温永琴, 徐丽芬, 陈宗瑜, 等. 云南烤烟石油醚提取物和多酚类与气候要素的关系[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 28(2): 103–105
Wen Y Q, Xu L F, Chen Z Y, et al. Relationship between climatic factors and contents of petroleum ether extracts and polyphenol compounds in Yunnan tobacco[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2002, 28(2): 103–105
[28] 王冬, 张小全, 杨铁钊, 等. 类西柏烷二萜代谢机理及调控研究进展[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(3): 113–118
Wang D, Zhang X Q, Yang T Z, et al. Research progress on metabolic mechanism of cembranoid diterpenes and its regulation[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(3): 113–118